

# 무선통신을 이용한 열차제어시스템의 효율성에 대한 연구

## The Study of Efficiency of Train Control System using RF Communication

백 중 현\*

\* 한국철도기술연구원 전기신호연구본부(전화:(031)460-5441, 팩스:(031)460-5449, E-mail : jhbaek@krri.re.kr)

**Abstract** : Assuming that life of urban transit signalling is about 20 years with the flow of technology development, Seoul urban transit will be required to prepare for improvement soon. The highly developed countries preceding several levels rather than Korea are faced with commercial service which uses RF, ATC and ATO in Train Control System.

European highly developed countries in the field of railroad have been progressing standardization and technology development of signalling associated with related manufacturers for direct operation between nations. For that, a effective train control system with radio beyond control levels by the existing wayside-onboard communication is in a developed and used stage.

The systems which advanced countries have been progressing seem to be applied to domestic within 5 years from now. At present, there are no countries using CBTC for service throughout the world. So, this is investigated to focus on the routes ready to be installed with completed CBTC and trying to introduce the technology.

Especially, considerations for economic aspect are mainly reviewed about controlling ability of headway, flexibility, extension aspect and construction cost on the basis of paper examined in NYCT.

**Keywords** : CBTC, Train Control System, Headway, Interoperability, Flexibility

### 1. 서론

무선통신을 이용한 열차제어시스템은 신뢰성 높은 차상 및 현장설비가 사용되며 지상의 중앙제어센터에 설치된 컴퓨터가 각 열차의 위치와 속도를 주기적으로 연산하여 선형열차의 위치와 이동 제한지점까지의 거리를 열차로 전송하고 차상 컴퓨터가 열차 성능에 적합한 최적의 속도제어를 하는 것으로서 지상과 차상 사이의 데이터 전송에 무선통신을 사용하는 시스템을 말한다.

이러한 시스템은 열차위치검지 방식 및 지상과 차상 간의 통신방식 등에 따라 다양한 시스템으로 구성될 수 있으며, 열차 위치에 대한 높은 정확성과 해상도는 물론 열차 성능과 궤도 기하학의 제약 조건 내에서도 70초의 운전시격으로 운행할 수 있는 조건을 제공하는 등의 장점을 가지고 있다. 특히 기존 노선의 개량시에 원활한 병행운전을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 적합한 상호운영성을 유지할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 지상의 현장설비가 거의 필요 없어 유지보수의 효율화에 많은 기여를 할 것이다. 그러나 이러한 시스템은 무선통신을 이용하기 때문에 국내에서 적용하기 위해서는 해당 주파수 대역의 할당 등 선결조건

들이 요구된다.

본 논문에서는 이러한 무선통신을 이용한 열차제어시스템의 효율성에 대하여 운전시격 조정능력, 유연성 및 확장성 측면, 건설비용 측면에서 주로 검토하였다.

현재 국내에서 각 지자체별로 운영되고 있는 도시철도의 운전시격과 해외에서 현재 무선통신을 이용한 열차제어시스템을 적용하고자 하는 곳의 목표 운전시격을 검토하였다.

무선통신을 이용한 열차제어시스템의 유연성 및 확장성에 대해서는 NYCT에서 무선통신을 이용한 열차제어시스템을 적용하기 위하여 Hoyt Schermerhorn에서 Lefferts와 Howard Beach/JFK까지의 선로를 기준으로 다른 시스템과 유연성 및 확장성과 안정성, 운영 성능 등을 비교한 자료를 근거로 검토하였다.

건설비용 측면에 대해서는 최근에 건설된 국내 도시철도 신호시스템의 건설비용과 해외에서 무선통신을 이용한 열차제어시스템을 적용하고자 하는 곳의 건설비용을 비교 검토하였다. 이를 바탕으로 기존 도시철도 신호시스템 개량시의 대략적인 건설비용과 신규 노선에 설치되는 신호시스템의 대략적인 건설비용을 산출하였다.

## II. 운전시각 조정능력 검토

### 1. 국내 도시철도의 운전시각

국내에서 운행되고 있는 도시철도 노선의 운전시각은 설계 당시의 목표시각과는 대부분 차이를 보이고 있으며, 러시아워 때에 최소 운전시각으로 운영하고 있다. 각각의 노선별 운전시각은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 국내 도시철도 운전시각

노선명	운전시각		노선명	운전시각	
	R.H (분)	N.H (분)		R.H (분)	N.H (분)
서울시 1호선	3.0	4.0	서울시 7호선	3.0~ 4.0	5.0
서울시 2호선	2.5	5.5	서울시 8호선	4.5~ 6.0	6.0
서울시 3호선	3.0	6.0	부산시 1호선	4.0	6.0
서울시 4호선	2.5	5.0	부산시 2호선	4.0	6.0
서울시 5호선	2.5~ 3.0	5.0	대구시 1호선	5.0	6.5
서울시 6호선	4.0~ 5.0	6.0	인천시 1호선	4.0	8.0

### 2. 해외 CBTC 적용구간의 운전시각

현재 해외에서 CBTC 시스템으로 완전 개통하여 영업운전을 하는 곳은 없으나 건설중이거나 그 기능을 입증한 개소에 한하여 최소 운전시각 또는 목표 운전시각을 검토하였으며 그 결과는 다음의 표 2와 같다.

표 2. 해외 CBTC 적용구간의 운전시각

시스템명	지역	운영체	업체	운전시각
AATC	샌프란시스코	BART	GE-H. Hughes	150s→ 80s
ITCS	디트로이트- 시카고간의 AMTRAK선	AMTRAK	Harmon	5시간 35분- 2시간 35분
Seltrak	뉴욕의 Canarsie선	NYCT	Simens	목표 90s
Seltrak	파리 13호선	RATP	Alcatel	목표 90s
SACEM	홍콩	MTRC	Alstom	120s→ 95s
IAGO	싱가폴 NEL		Alstom	최종 90s

### 3. 검토 및 효과

현재 CBTC 시스템으로 구성된 해외사례를 검토하면 최종적으로 95~80초 정도의 운전시각을 기대하고 있으며 이를 국내 도시철도와 비교하면 국내 도시철도의 영업 운전중 러시아워에서의 최소 운전시각 2.5분에서 30~45초 정도의 운전시각 단축효과를 기대할 수 있다.

표 3. 국내 도시철도 운행횟수

구분	시간대	3호선	4호선
운행시간별 열차운행횟수	R·H	7~9	73편성
		18~20	59편성
	N·H	295편성	347편성

국내 도시철도의 열차운행은 R·H와 N·H로 구분되며 N·H는 고밀도 열차운전을 크게 요구하지 않으나 R·H에서는 고밀도 운전을 요구하므로 현재 3호선의 러시아워에서의 운행횟수는 150초로 운행되고 있으며 러시아워 시간 7~9시까지 약 10,800초 동안 73량이 운행되고 있다. 이를 CBTC 시스템으로 개량 시에는 3시간 동안 113편성의 열차운행 효과를 기대할 수 있다.

## III. 유연성 및 확장성 검토

### 1. 시스템 요구조건 만족도

다음의 그림 1 및 표 4는 NYCT에서 조사한 기준 이하철 개량에 필요한 조건들을 만족시켜주는 정도에 대해 각 시스템 별로 등급을 매겨서 평가한 내용이다.

그림 1. 기술등급 평가요약

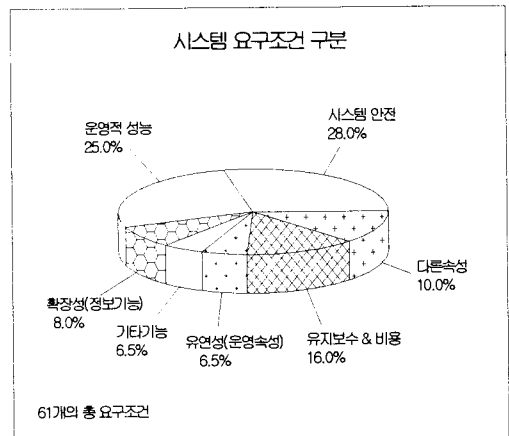


표 4. 시스템 등급 수준

구분	시스템 등급 점수	등급 수준 (%)
Communication Based ATC	1649	95.9
Overly type ATC	1538	89.4
Audio-Frequency Cab Signalling	1383	80.4
Wayside Fixed Block /Wheel Detectors	1148	67.9

2. 검토 및 효과

앞에서 검토된 바와 같이 각 시스템별로 7가지의 특성을 검토하였다. 이러한 시스템들은 현재 국내에서 사용하고 있는 시스템과 비교해볼 때 AF 차상장치와 비슷한 시스템이므로 CBTC와 AF차상 시스템을 비교하면 시스템의 안정성에서는 각각 90%의 성능을 보이며 CBTC 시스템이 우수한 것으로 나타났다. 운영 성능 면에서 CBTC 시스템은 90% 이상이고 AF 차상시스템은 70% 정도의 수준으로 20% 정도의 큰 차이를 보이면서 CBTC가 우수하고, 확장성에는 CBTC는 거의 100%에 가까우나 AF 차상시스템은 80% 수준도 안되는 것으로 나타났다. 또한 유연성에서도 CBTC는 거의 100%에 가까우나 AF차상시스템은 80%도 안되는 수준이었고, 유지보수 및 비용측면에서도 20%이상의 차이를 보이며 CBTC 시스템이 우수한 것으로 나타났다. 이와 같이 시스템의 안전이나 기타 성능에서는 비슷한 성능을 보이나, 운영적 성능, 확장성, 유연성, 유지보수 및 비용에서는 20%의 차이를 나타내었다. 즉, 100% 기준으로 보았을 경우 CBTC 시스템이 기존의 AF 차상시스템보다 20%이상 우수한 것으로 생각할 수 있다.

IV. 건설비용 검토

1. 국내 도시철도 신호시스템 건설비용

최근 건설된 서울지하철 5호선과 7호선의 설계 단계에서의 건설비용은 다음의 표 5와 같다.

표 5. 국내 도시철도 건설비용

(단위: 억원)

구분	선로 연장	공사비	외자재	내자재	건설비 합계	1km당 건설비
서울시 5호선	52.4 km	110.8	373.1	68.6	604.9	11.5
서울시 7호선 1단계	17.7 km	36.8	192.6	35.7	265.1	14.9

2. 해외 CBTC 적용노선 건설비용

현재 세계적으로 CBTC를 도입하여 영업 운영을 하고 있는 노선은 없으나 NYCT에서 CBTC를 도입하기 위하여 검토한 모델라인(Hoyt Schermerhorn에서 Lefferts와 Howard Beach/JFK까지의 Line : 약 14km 483m)의 검토자료를 근거 기준으로 하여 조사하였다. 평가대상은 Wayside ABS, AF Cab Signalling, Communication-Based, Overlay Communication-Based 등으로 구분하였다.

표 6. 해외 CBTC 적용노선 건설비용

(1\$ : 1,200원, 억원)

열차 통제 기술	자본 투자 비용	개발/설치 비용
Wayside ABS	\$202,000,000 (2,424억원)	\$102,000,000 (1,224억원)
AF Cab Signaling	\$140,000,000 (2,424억원)	\$72,000,000 (864억원)
Communications-based	\$140,000,000 (2,424억원)	\$72,000,000 (864억원)
Overlay Communications-based	\$249,000,000 (2,424억원)	\$132,000,000 (1,584억원)

3. 건설비용 추정

3.1 적용기준

사업비는 시설비, 엔지니어링 용역(자문 및 설계), 내부 지원(부대사업비) 및 예비비 등으로 구성하는데, 시설비가 60%에서 70% 기타 시설비를 제외한 비용이 30%에서 40% 정도이다.

- 시설 설치비 : 연동장치, 지상 차륜 탐지시스템, 지상 비상예비 신호등을 구입 설치하는 비용이다.
- 차상장치 : 이 비용은 기존 차량을 개량하고 신규 차량에 대해서는 차상장치를 설치하는 비용이다. 기존차량 및 신규차량에 대한 설치비용은 NYCT 프로젝트인 경우 각각 \$27,000 및 \$13,000 이었다.
- 전자장비 : 지상 바이탈 제어기, 데이터 통신 제어기, 라디오 장비, 안테나, 동축케이블, 궤도 및 신호 인터페이스 장치, 트랜스폰더 등의 비용이다. 설치비용도 포함하여야 한다.
- 보수시설 : 중앙 보수시설의 확장 및 보수시설의 개선 비용이다.
- 마스터 중계탑 위치 : 중계탑 건설 및 유틸리티 비용
- 현장 연동장치 제어 : 현장 배전반 및 논-바이탈 로직 비용(\$29,000/신호)

- Trunk 통신 : 모든 신기술 장비를 링크하기 위한 케이블 포설 비용이다.
- 초기 예비품 : 예비 부품을 말한다. 차상장치, 전자장비, 마스터 신호탑, 현장 연동장치 및 트렁크 통신에 대해서는 5%를 적용한다.

### 3.2 해외 CBTC 적용노선의 건설비용

건설비를 산출하기 위해서는 대상선로에 대한 자세한 분석이 필요로 하나, 여기에서는 해외의 CBTC 시스템의 계약금액을 참고로 하여 개략적인 건설비를 산출하고자 한다. 아래는 해외의 CBTC 시스템의 km당 건설비이다.

- MUNI Project : \$7.35million/km
- NYCT Project : \$7.89million/km
- BART Project : \$0.94million/km
- Kuala Lumpur Project : \$2.44million/km
- Ankara Project : \$2.19million/km

프로젝트의 성격에 따라서 계약금액은 큰 차이를 보이고 있는데, 이는 CBTC 시스템을 기존 노선에 설치하느냐, 신규노선에 설치하느냐에 따라서 과업의 범위가 크게 달라지기 때문이다. 기존노선에 설치하는 경우에는 기존시설을 개량하고, 철거하는 비용 등 신규노선에 시스템을 설치할 때보다 많은 비용이 소모되기 때문이다. 또한 기존 노선에 시스템을 설치할 경우에는 기존시스템과 신규 시스템을 병행하여 사용하여야 하는 등, 더 많은 비용을 수반하게 된다.

### 4. 검토 및 효과

국내의 경우, 기존노선을 이용하여 CBTC 시스템을 설치하여야 하기 때문에 신규노선에 적용할 때 보다 더 많은 사업비가 예상된다. 기존시스템과 상호작용이 가장 적은 시스템을 선정한다면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 건설비를 제외한 설계, 자문 및 부대비용을 국내에서 해결함으로써, 전체 사업비 절감을 이룰 수 있을 것이다. 국내 CBTC 시스템 건설비용을 해외 신규노선의 CBTC 비용과 동일하다고 가정하면, km당  $\$2.5\text{million} \times 0.7 = \$1.75\text{million}$  정도로 예측되며, 설계 등 기타비용을 프로젝트 비용의 10% 정도로 예상하면 설계 등 기타 비용은  $\$2.5\text{million} \times 0.1 = \$0.25\text{million}$  정도가 될 것이므로, km당 건설비는  $\$2.0\text{million}$  정도로 예상할 수 있다.

### V. 결론

전술한 내용에서 볼 수 있는 것처럼 철도 업계는 CBTC 기술을 선호하는 명백한 추세라 할 수 있으며, 앞에서 검토한 바와 같이 해외 CBTC 시스템의 최종 운전시격의 목표는 대부분 90초의 운전시격을 목표로 하고 있다.

세계적인 신호분야의 기술중 Wayside ABS, AF Cab Signaling, Communication-based, Overlay

Communication-based Hybrid 등의 4가지 기술을 비교해 보면, 기술적인 부분에서는 세계적인 추세가 CBTC 시스템으로 옮겨가고 있으며, 시스템 요구 만족도 측면에서도 단연 CBTC가 우수함을 알 수 있었다. 경제적인 관점에서는 Life cycle Cost와 Cost Elements Summary에서도 역시 CBTC시스템이 유리 할 것으로 생각된다. 이를 근거로 하여 국내의 기존 지하철은 차상신호에 근접하므로 CBTC 시스템이 상대적으로 유리하다고 할 수 있다.

표 7. CBTC 적용효과

구 분	기존시스템	CBTC시스템	기대효과
운전시격 조정능력	최소운전시격 150초 (실제 R·H 운행시간)	최종목표시격 95~80초	30~45초 단축기대
R·H에서의 열차 운행 횟수 (7시~9시)	73편성 (3호선 기준)	113편성 (90초기준)	40편성의 운행횟수 증대 기대
유연성 및 확정성 (요구조건 만족도 100% 기준)	유연성 및 확정성 80% 미만 (NYCT 조사자료근거)	유연성 및 확정성 90% 이상 (NYCT조사 자료근거)	10%이상의 만족도 증가 기대
Life Cycle Cost 및 유지보수비 (가치기준 100%, 사용년수 35년)	수명비용:100% 보수유지비:100%	수명비용:97% 보수유지비:98%	수명비용 :3%감소 보수유지비 :2%감소
건설비	투자비용 및 설치비용이 비슷한 수준으로 조사됨 (NYCT조사자료근거)		건설비는 km당 \$2백만으로 예상됨

### 참고문헌

- [1] 류상환, 백중현외, "도시철도 신호시스템 표준화 연구 2002년 보고서" 건설교통부, 2002.